

А. В. Савинов, О. А. Полесский, В. И. Лысак, П. П. Красиков, А. А. Чудин, Д. А. Муругов

ПРОПЛАВЛЯЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ДУГИ С НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ (ОБЗОР)

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: svarka-nv@vstu.ru

В работе на основе анализа литературных данных показано влияние угла заточки и диаметра притупления рабочего участка неплавящегося электрода, состава защитного газа, формы разделки кромок на глубину и площадь проплавления основного металла.

Ключевые слова: неплавящийся электрод, инертный газ, глубина проплавления.

A. V. Savinov, O. A. Polesskiy, V. I. Lysak, P. P. Krasikov, A. A. Chudin, D. A. Murugov

PENETRATION ABILITY OF THE ARC WITH NON-CONSUMABLE ELECTRODE (REVIEW)

Volgograd State Technical University

Based on the analysis of literature data, the paper shows the influence of the sharpening angle and the diameter of the blunting of the working section of a non-consumable electrode, the composition of the protective gas, the shape of the cutting edges on the depth and area of penetration of the base metal.

Keywords: non-consumable electrode, inert gas, penetration depth.

Наиболее значимыми параметрами сварных соединений являются глубина $H_{пр}$, ширина B и коэффициент формы проплавления $\psi = B / H_{пр}$ [1; 2]. Известно, что параметры проплавления (прежде всего глубина $H_{пр}$) в основном определяются величиной тока дуги и скоростью ее перемещения (скоростью сварки). На ширину проплавления B влияют как ток I_d , так и, в большей мере, напряжение горения дуги U_d [1]. Однако необходимо учитывать, что при сварке открытой дугой неплавящимся электродом возможность изменения U_d крайне мала (в основном, за счет изменения длины дуги) [3].

Изучению зависимости проплавляющей способности дуги от параметров заточки рабочего участка неплавящегося электрода посвящен ряд работ [3–9]. Мнения различных иссле-

дователей в оценке этого влияния значительно расходятся. Так, по одним данным [4], при сварке в аргоне с ростом угла заточки неплавящегося катода глубина проплавления увеличивается при токах дуги свыше 150 А (рис. 1), в то время как по другим [5; 6] – эта зависимость имеет обратный характер при $\alpha > 34$ (рис. 2 и 3). В случае применения при сварке гелия $H_{пр}$ монотонно убывает с увеличением угла заточки и имеет максимальное значение при $\alpha = 10^\circ$ (рис. 2).

Величина притупления заточенного на конус электрода также влияет на глубину проплавления. По данным различных авторов [3; 5; 6] увеличение притупления приводит к заметному уменьшению $H_{пр}$, а максимальная глубина наблюдается при заточке катода на «иглу» в широком диапазоне токов.

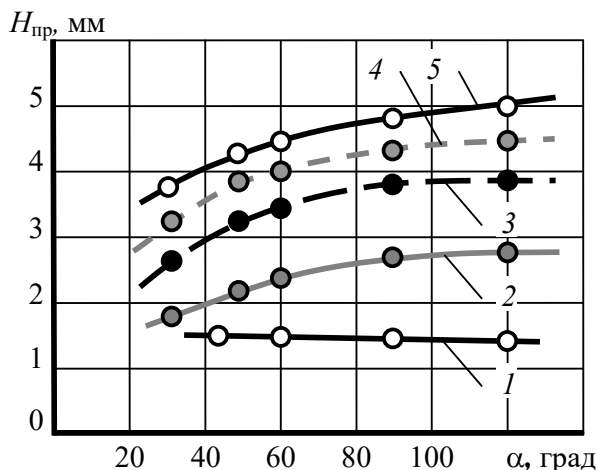


Рис. 1. Влияние угла заточки электрода α на глубину проплавления $H_{пр}$ [4]: I_d , А 100 (1), 150 (2), 200 (3), 250 (4) и 300 (5); $d_s = 2,5$ мм; $v_{св} = 4,6$ м/ч; материал – низкоуглеродистая сталь

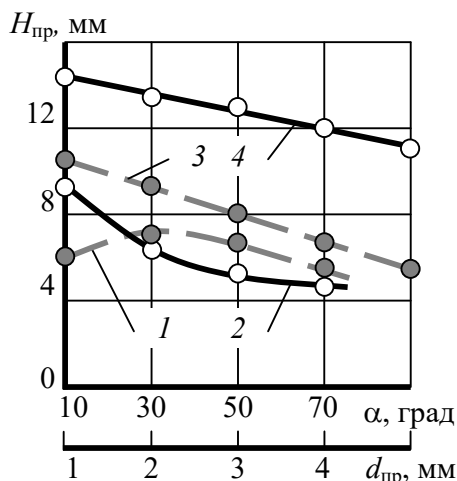


Рис. 2. Зависимость глубины проплавления $H_{пр}$ от угла заточки α (1, 3) и диаметра притупления электрода $d_{пр}$ (2, 4) [5]: 1, 2 – аргон; 3, 4 – гелий; $I_d = 400$ А

В работе [9] увеличение проплавления основного металла с ростом угла заточки и диаметра притупления неплавящегося катода при аргонодуговой сварке объясняется изменением формы столба дуги, а следовательно, изменением количества тепла, поступающего в металл.

Увеличение проплавления с ростом α отмечается в диапазоне 15–90°, а дальнейшее возрастание величины α приводит к уменьшению параметров проплавления. В то же время, по данным [4] повышение α от 30 до 120° при сварке в аргоне приводит к существенному сужению проплавления при росте его глубины.

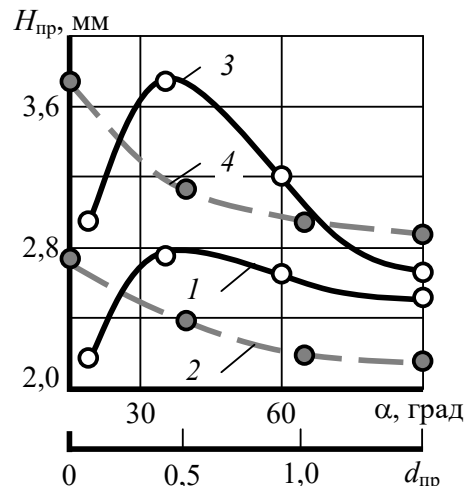


Рис. 3. Зависимость глубины проплавления $H_{пр}$ от угла заточки α (1, 3) и диаметра притупления $d_{пр}$ электрода (2, 4) [6]: 1, 3 – $d_{пр} = 0$; 2, 4 – $\alpha = 34^\circ$; 1, 2 – $I_d = 210$ А; 3, 4 – $I_d = 260$ А; $I_d = 1$ мм; материал – сталь 08X18H10T

Авторы работы [9] отмечают, что увеличение содержания гелия в смеси приводит к увеличению параметров проплавления. Причем рост глубины $H_{пр}$ имеет прямо пропорциональный характер при углах заточки 30–90°, а при $\alpha = 180^\circ$, изменение пропорции аргоно-гелиевой смеси не вызывает сколь-нибудь существенных изменений параметров проплавления.

Представляют интерес результаты исследований совместного влияния параметров неплавящегося электрода и состава аргоно-гелиевой смеси на площадь сварного шва при различных типах разделки кромок (рис. 4), из которых видно, что данные зависимости не имеют однозначного характера. Так, при V-образной разделке кромок увеличение угла заточки приводит к уменьшению $S_{пр}$ при содержании гелия в смеси менее 30 %. Дальнейшее увеличение концентрации He в защитном газе приводит к росту параметров проплавления основного металла. Аналогичная картина наблюдается и при U-образной разделке с той лишь разницей, что обратная зависимость площади шва от угла заточки электрода сохраняется вплоть до содержания гелия в смеси 70 %. Указанное явление при сварке в узкощелевой зазор не наблюдается.

В литературе имеются данные о влиянии на эффективность нагрева металла при сварке неплавящимся электродом целого ряда факторов (ток дуги, состав защитного газа и т.д.). В частности, в работе [10] отмечается влияние защитного газа на эффективный КПД η_i для различ-

ных значений тока (рис. 5). Установлено, что $\eta_{\text{и}}$ в азоте выше, чем в гелии; в свою очередь, в гелии эффективность нагрева выше, чем в ар-

гоне, однако видно, что при токах более 225–230 А картина меняется и $\eta_{\text{и}}$ в аргоне становится выше, чем в гелии.

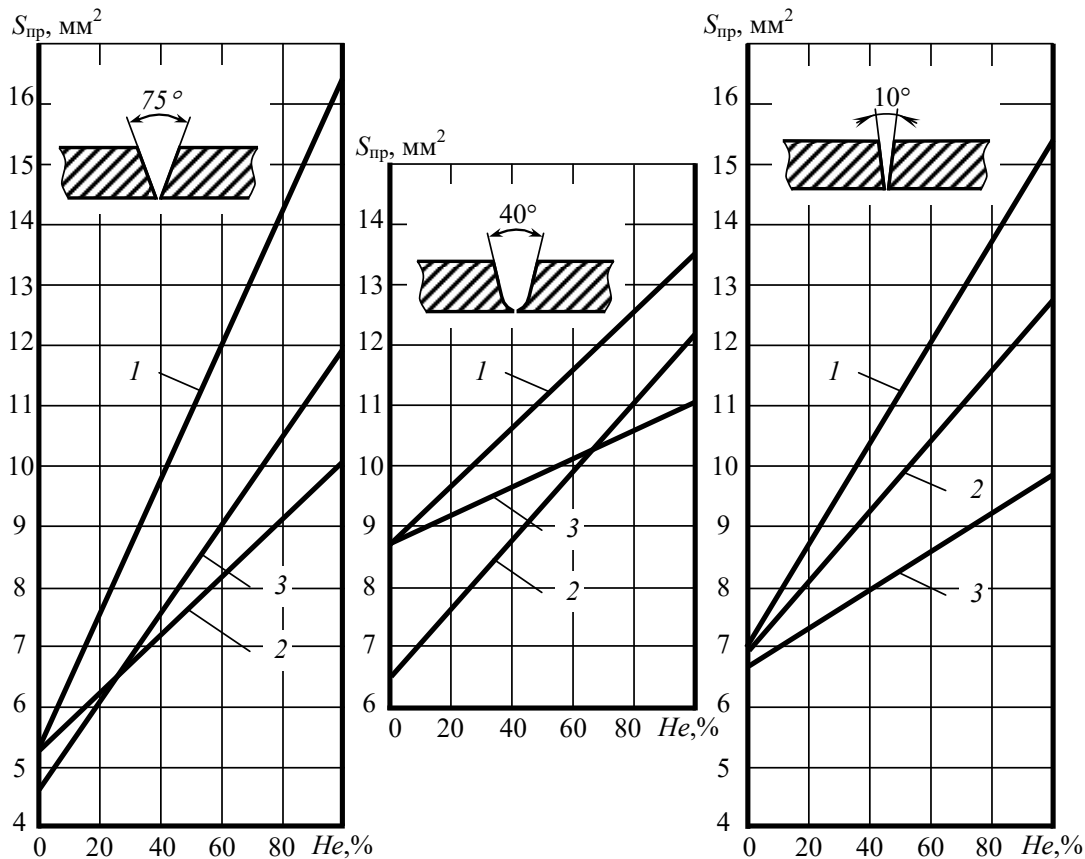


Рис. 4. Зависимость площади проплавления $S_{\text{пр}}$ от угла заточки вольфрамового электрода, содержания гелия в смеси и формы разделки кромок [9]:
1 – $\alpha = 30^\circ$; 2 – $\alpha = 60^\circ$; 3 – $\alpha = 90^\circ$; $I_d = 150$ А; $v_{\text{св}} = 10,8$ м/ч

Отмечается, что процессы сварки неплавящимся электродом в азоте и гелии практически равноценны по энергетическим и технологическим параметрам, а тепловыделение в анодной области разрядов в 2 раза выше, чем для аргонной дуги (рис. 6). Однако применение азота в качестве защитного газа ограничивается его инертностью только по отношению к меди.

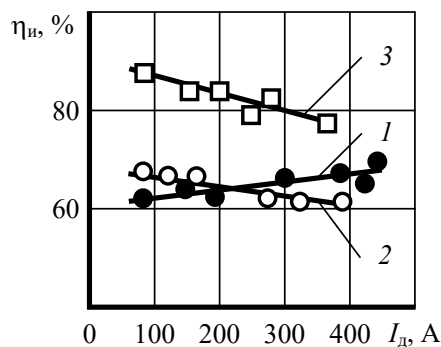


Рис. 5. Зависимость эффективного КПД $\eta_{\text{и}}$ от тока I_d дуги, горющей: 1 – в аргоне; 2 – гелии; 3 – азоте [10]

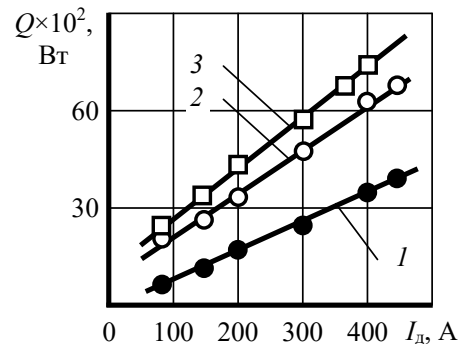


Рис. 6. Зависимость тепловыделения Q на аноде от тока I_d дуги, горющей: 1 – в аргоне; 2 – гелии; 3 – азоте [10]

Данные о влиянии защитного газа на тепловые и силовые характеристики дуги у различных авторов разнятся. Авторы [11] считают, что температура дуги, скорость и плотность теплового потока к аноду увеличивается при добавлении гелия к аргону, что приводит к увеличению давления дуги и повышению глубины проплавления. По мнению исследователей [12],

сжатие сварочной дуги с вольфрамовым катодом определяется теплофизическими свойствами инертного газа и характеристиками электрон-атомных столкновений, причем дуговой разряд в смеси аргона и гелия может быть сильнее контрагирован, чем в чистом *He*. Это достигается при достаточно больших токах и концентрациях гелия свыше 50 % [13]. Авторы [14] не обнаружили никакой разницы между силовым воздействием дуги на сварочную ванну в аргоне и гелии. В работе [15] отмечается, что применение смеси *He* + 0,4% *O*₂ позволяет получить глубокую узкую форму шва из-за изменения направления конвекции Марангони.

По мнению [16] воздействие внешнего электромагнитного поля на дугу при сварке неплавящимся электродом позволяет улучшить формирование и качество металла сварного шва и повысить производительность процесса. По данным [17] применение многополюсной электромагнитной системы дает возможность управлять отклонениями дуги и воздействовать на процессы формирования и кристаллизации швов. Авторы [18] показали, что контрагирование дуги в продольном магнитном поле с индукцией до 0,3Т приводит к возрастанию концентрации тепловой энергии в пятне нагрева, увеличению гидродинамического давления дуги на расплав и уменьшению толщины теплоизолирующей жидкой прослойки под дугой.

Однако сложность дополнительного оборудования и снижение эффекта при сварке на высоких значениях силы тока и при соединении ферромагнитных материалов сдерживает широкое применение данного способа. Воздействие внешнего магнитного поля приводит к интенсивной эрозии рабочего участка неплавящегося электрода [19].

Выводы

1. С ростом угла заточки и диаметра притупления рабочего участка неплавящегося электрода при аргонодуговой сварке наблюдается увеличение проплавления основного металла.

2. Увеличение содержания гелия в смеси приводит к увеличению параметров проплавления. Причем рост глубины $H_{пр}$ имеет прямо пропорциональный характер при углах заточки электрода 30–90°, а при $\alpha = 180^\circ$ изменение пропорции аргоно-гелиевой смеси не вызывает сколь-нибудь существенных изменений параметров проплавления.

3. Воздействие внешнего электромагнитного поля на дугу при сварке неплавящимся электродом

позволяет улучшить формирование и качество металла сварного шва и повысить производительность процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ерохин, А. А. Основы сварки плавлением / А. А. Ерохин. – М. : Машиностроение. – 1973. – 448 с.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б. Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974. – 768 с.
3. Иванова, О. Н. Допустимые значения тока при аргонодуговой сварке вольфрамовыми электродами / О. Н. Иванова, Д. М. Рабкин, В. П. Будник // Автоматическая сварка. – 1968. – № 5. – С. 20–23.
4. Savage, W. F. The effect of electrode geometry in gas tungsten - arc welding / W. F. Savage, S. S. Strunk, Y. Ishikawa // Welding Journal. – 1965. – № 11. – P. 489 – 496.
5. Суздалев, И. В. Влияние параметров режима сварки на форму и размеры кратера сварочной ванны и толщину жидкой прослойки под дугой / И. В. Суздалев, Б. М. Березовский, В. К. Прохоров // Сварочное производство. – 1988. – № 8. – С. 35–36.
6. Ерохин, А. А. Влияние геометрии вольфрамового катода на некоторые характеристики сварочной дуги и проплавление металла / А. А. Ерохин, В. А. Букаров, Ю. С. Ищенко // Сварочное производство. – 1971. – № 12. – С. 17–19.
7. Иванова, О. Н. Допустимые значения тока при аргонодуговой сварке вольфрамовыми электродами / О. Н. Иванова, Д. М. Рабкин, В. П. Будник // Автоматическая сварка. – 1968. – № 5. – С. 20–23.
8. Ludwig, H. C. Current density and anode spot size in the gas tungsten arc / H. C. Ludwig // The Welding Journal. – 1968. – № 5. – P. 234 – 240.
9. Key, J. F. Anode/ Cathode geometry and Shielding gas interrelationships in GTAW / J. F. Key // The Welding Journal. – 1980. – № 12. – P. 364–370.
10. Лейбзон, В. М. Энергетические и технологические параметры дуг, горящих в аргоне, азоте или гелии / В. М. Лейбзон, В. Я. Глушко, В. В. Фролов // Сварочное производство. – 1977. – № 8. – С. 9–11.
11. Tanaka, M. Influence of shielding gas composition on arc properties in TIG welding / M. Tanaka, S. Tashiro, T. Satoh et. al. // Science and Technology of Welding and Joining. – 2008. – № 13 (3). – P. 225–231.
12. Порицкий, П. В. Влияние защитного газа на контракцию сварочной дуги с вольфрамовым катодом / П. В. Порицкий, В. П. Прилуцкий, В. Н. Замков // Автоматическая сварка. – 2004. – № 6. – С. 3–10.
13. Порицкий, П. В. Контракция сварочной дуги с вольфрамовым катодом в смесях инертных газов / П. В. Порицкий, В. П. Прилуцкий, В. Н. Замков // Автоматическая сварка. – 2005. – № 7. – С. 3–9.
14. Руссо, В. Л. Влияние напряжения дуги и геометрии неплавящегося электрода на силовое воздействие дуги / В. Л. Руссо, И. В. Суздалев, Э. И. Явно // Сварочное производство. – 1977. – № 7. – С. 6–8.
15. Fujii, H. 2008. Development of an advanced A-TIG (AA-TIG) welding method by control of Marangoni convection / H. Fujii, T. Sato, S. Lu, K. Nogi // Materials Science and Engineering. – 2008. – № A 495. – P. 296–303.
16. Размышляев, А. Д. Влияние продольного магнитного поля на характеристики дуги при сварке неплавящимся электродом в аргоне / А. Д. Размышляев, М. В. Ми-

ронова, А. А. Дели // Автоматическая сварка. – 2008. – № 3. – С. 21–25.

17. Рыжов, Р. Н. Особенности формирования и кристаллизации швов при сварке ТИГ с отклонениями дуги магнитным полем / Р. Н. Рыжов, В. С. Семенюк, А. А. Титов // Автоматическая сварка. – 2004. – № 4. – С. 17–20.

18. Болдырев, А. М. Влияние продольного магнитного

поля на проплавляющую способность сварочной дуги прямой полярности / А. М. Болдырев, В. А. Биржев // Сварочное производство. – 1982. – № 4. – С. 10–11.

19. Анисимов, В. В. Особенности разрушения неплавящихся электродов в условиях действия магнитных полей / В. В. Анисимов, В. А. Букаров, А. Ю. Абламов, Г. Г. Чернышов, И. В. Коваленко // Сварочное производство. – 1990. – № 11. – С. 38–39.